

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

EXPERIMENTÁLNÍ MECHANICKO-ELEKTRICKÝ HUDEBNÍ NÁSTROJ – ELEKTROFONICKÉ HOUSLE S PRAŽCI

EXPERIMENTAL ELECTRO-MECHANICAL MUSICAL INSTRUMENT - ELECTROACOUSTIC VIOLIN WITH
FRETS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Pieczonka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Student: Jan Pieczonka

ID: 211024

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Experimentální mechanicko-elektrický hudební nástroj – elektrofonické housle s pražci

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvořit funkční prototyp experimentálního mechanicko-elektrického hudebního nástroje v podobě houslí s opražcovaným hmatníkem, zabudovaným piezo snímačem, elektromagnetickým snímačem, korekčním předzesilovačem a integrovaným DI-boxem. Ladění nástroje bude nestandardní, rozeznívání se bude provádět pomocí speciálních excitátorů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GUŠTAR, M. Elektrofony I. Uvnitř, Praha, 2006. ISBN 978-80-239-8446-0.

[2] GUŠTAR, M. Elektrofony II. Uvnitř, Praha, 2008. 518s. ISBN 978-80-239-8447-7.

Termín zadání: 1.2.2021

Termín odevzdání: 31.5.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Hlavním cílem této bakalářské práce je návrh a konstrukce mechanicko-elektrického experimentálního nástroje. Nástroj vychází z klasických houslí. Práce obsahuje návrh a realizaci snímačů nástroje, experimentální excitátor, úpravy nástroje a jeho vyhodnocení. Nástroj bude využívat dva typy snímačů, korekční předzesilovač a pražce umožňující experimentální ladění.

Klíčová slova

elektrické housle, snímač, excitátor, předzesilovač, ladění

Abstract

The main aim of this bachelor thesis is a design and a construct of an experimental electromechanical instrument. The instrument is based on classical violin. The thesis includes a design and a construction of violin pickups, an experimental excitator, an alterations of the instrument and its assessment. The instrument will use two types of pickups, corrective preamplifier and frets, for experimental tuning.

Keywords

electric violin, pickup, excitator, preamplifier, tuning

Bibliografická citace

PIECZONKA, Jan. *Experimentální mechanicko-elektrický hudební nástroj – elektrofonické housle s pražci* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133493>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Dan Dlouhý.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Jan Pieczonka
VUT ID studenta:	211024
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2020/2021
Téma závěrečné práce:	Experimentální mechanicko-elektrický hudební nástroj nebo zvukový zdroj

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 30. května 2021

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. MgA. Mgr. Danu Dlouhému, Ph.D. za odborné vedení, rychlou komunikaci, konstruktivní návrhy, trpělivost a konzultace. Vedení práce bylo z jeho strany velmi profesionální i za současně nepřívětivých podmínek.

V Brně dne: 30. května 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	3
SEZNAM TABULEK.....	4
ÚVOD	5
1. TEORETICKÝ ZÁKLAD.....	6
1.1 ELEMENTY AKUSTICKÉHO SYSTÉMU A DĚLENÍ HUDEBNÍCH NÁSTROJŮ	6
1.2 STRUNNÉ – SMYČCOVÉ NÁSTROJE	6
1.3 HOUSLE.....	7
1.3.1 Konstrukce houslí.....	8
1.4 ELEKTROFONY	9
1.5 LADĚNÍ.....	11
1.5.1 Čisté ladění	11
1.5.2 Temperované ladění.....	11
1.5.3 Mikrointervalové ladění.....	12
1.6 SNÍMAČE PRO HOUSLE.....	12
1.6.1 Piezoelektrický snímač.....	12
1.6.2 Elektromagnetický snímač	13
1.7 KOREKČNÍ PŘEDZESILOVAČ	14
1.8 DI-BOX (DIRECT INJECTION, DIRECT INPUT, DIRECT INTERFACE).....	14
1.9 EBow	15
1.10 ELEKTROMOTOR.....	15
1.11 REGULÁTOR OTÁČEK STEJNOSMĚRNÝCH ELEKTROMOTORŮ.....	16
2. NÁVRH.....	18
2.1 KONSTRUKCE HOUSLÍ.....	18
2.1.1 Konstrukce snímačů	20
2.1.2 Struny a jejich ladění	21
2.1.3 Pražce	23
2.1.4 Korekční předzesilovač.....	23
2.1.5 Integrovaný Di-box	25
2.2 NÁVRH OBVODU ELEKTROMAGNETICKÉHO SNÍMAČE, KOREKČNÍHO PŘEDZESILOVAČE A DI-BOXU	26
2.3 KONSTRUKCE EXCITÁTORU	27
2.3.1 Elektromotor	27
2.3.2 Regulátor	27
2.3.3 Výměnné hlavice excitátoru	27
3. REALIZACE	29
3.1 ÚPRAVY HOUSLÍ.....	29
3.1.1 Úpravy těla	29
3.1.2 Úpravy krku a hmatníku.....	31
3.2 POSTUPNÁ KONSTRUKCE.....	31
3.2.1 Elektromagnetický snímač	31
3.2.2 Piezoelektrický snímač.....	33
3.2.3 Korekční předzesilovač.....	33

3.2.4	<i>Pasivní Di-box</i>	35
3.2.5	<i>Propojení obvodů</i>	35
3.2.6	<i>Opražcování hmatníku</i>	36
3.2.7	<i>Struny</i>	37
3.2.8	<i>Kompletní nástroj</i>	38
3.3	SESTROJENÍ EXCITÁTORU	39
3.3.1	<i>Obvod elektromotoru</i>	39
3.3.2	<i>Hlavice excitátoru</i>	39
4.	HODNOCENÍ NÁSTROJE	41
4.1	HRA NA NÁSTROJ	41
4.2	SNÍMÁNÍ	41
4.3	PROBLÉMY PŘI KONSTRUKCI	42
4.4	MOŽNOSTI HRY	43
4.5	NAVRHOVANÉ ÚPRAVY	43
5.	ZÁVĚR	45
	LITERATURA	46
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Umístění snímačů na houslích.....	18
2.2	Průřez hmatníkem znázorňující umístění elektromagnetického snímače.....	19
2.3	Umístění prvků obvodu elektromagnetického snímače a jeho ovládacích prvků	20
2.4	Schéma možných prstokladů akordů v ladění D, E, A, H	21
2.5	Rozklad sil struny působící na kobytku houslí.....	22
2.6	Schéma korekčního předzesilovače [9]	23
2.7	Návrh plošného spoje korekčního předzesilovače.....	25
2.8	Schéma základního pasivního Di-boxu	25
2.9	Blokové schéma obvodu elektromagnetického snímače	26
3.1	Umístění elektrických prvků v houslích.....	29
3.2	Ovládací prvky snímačů.....	30
3.3	Otvor v horní desce pro snímače	30
3.4	Úprava hmatníku pro uchycení snímačů	31
3.5	Nízkoimpedanční snímač s magnetickým jádrem.....	32
3.6	Vložení odkazu na obrázek. Vyberte <i>Typ odkazu</i> , pak <i>Pouze popis</i> a číslo	32
3.7	Piezoelektrický snímač.....	33
3.8	Horní a spodní pohled na destičku plošného spoje korekčního předzesilovače	34
3.9	Osazení destičky plošného spoje korekčního předzesilovače	34
3.10	Oddělovací transformátor Pasivního Di-boxu	35
3.11	Propojení obvodů snímačů	36
3.12	Oprávcovaný hmatník po úpravě.....	37
3.13	Hotový nástroj přední pohled.....	38
3.14	Hotový nástroj boční pohled	39
3.15	3D model hlavičky excitátoru pohled A.....	40
3.16	3D model hlavičky excitátoru pohled B	40

SEZNAM TABULEK

2.1	Seznam součástí korekčního předzesilovače	24
3.1	Vzdálenosti prážců	37

ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je návrh a konstrukce experimentálního mechanicko–elektronického nástroje. Experimentálnost nástroje se měla projevit v neobvyklé konstrukci, neobvyklém ladění, zajímavých barvách nástroje nebo neobvyklém rozeznívání tohoto nástroje. Cílem je vytvořit housle, které by díky opražcování byly ideální pro hraní akordů v rovnoměrně temperovaném ladění. Provedení těchto akordů na klasické housle je obtížné a úpravami navrhnutými v této práci by se mělo jejich hraní usnadnit. Housle s pražci nejsou na trhu téměř k dostání a akustické housle s pražci zřejmě vůbec. Zároveň budou mít housle hrát v experimentálním ladění (mikrotonální, třináctistupňová oktáva). Součástí práce je navrhnutí snímání houslí, které bude obstaráno kombinací elektromagnetického a piezoelektrického snímače, a jejich výroba. U elektromagnetického bylo navrženo připojení korekčního předzesilovače a Di-boxu, které budou začleněny do těla houslí. Pro experimentální rozeznívání je navrhnut speciální excitátor, který umožní různé způsoby rozeznívání houslí. Experimentálnost tedy spočívá v umístění pražců na housle, použití elektromagnetického snímače, experimentální mikrotonální ladění a použití speciálních excitátorů, neobvyklých pro tento nástroj.

První část práce je věnována teoretickému úvodu, jenž vysvětluje problematiku vyskytující se v návrhu práce. Jedná se o teorii hudebních nástrojů s širším rozbohem elektrofonů, smyčcových nástrojů a houslí, ladění a elektronických prvků práce.

Druhá část se věnuje samostatnému návrhu celého nástroje nebo jeho prvků, ladění a návrhu excitátoru.

Třetí část se věnuje konstrukci nástroje. Popisuje postup při výrobě jednotlivých částí, úpravy na těle houslí a následnou kompletaci nástroje.

Ve čtvrté části je nástroj zhodnocen. Jsou zde uvedeny návrhy na změnu, hodnocení hry, funkčnost snímačů a použití experimentálních excitátorů.

1. TEORETICKÝ ZÁKLAD

1.1 Elementy akustického systému a dělení hudebních nástrojů

Historie prvních hudebních nástrojů sahá až do pravěku a od té doby se neustále vyvíjí. U většiny z nich se dají najít elementy akustického systému hudebních nástrojů:

Excitátor – mechanismus který vyvolá kmity na oscilátoru (palička, smyčec, trsátko, ruka).

Oscilátor – kmitající část nástroje (struna, plátek, blána, jazýček).

Rezonátor – část nástroje, která přijímá kmity oscilátoru, zesiluje je a upravuje (tělo nástroje – ozvučné desky nebo skříně, sloupec vzduchu).

Radiátor – udává směr vyzařování akustické vlnění do prostoru (ozvučný otvor, roztrub).

Zároveň jsou ale jednotlivé části nástroje schopny plnit více funkcí. Příkladem jsou třeba housle, kde struny plní nejen funkci oscilátoru, ale i radiátoru, a třeba spodní stěna houslí plní funkci rezonátoru i radiátoru.

Pro rozdělení hudebních nástrojů se v dnešní době používá mnoho různých dělení. Nejčastěji jsou však děleny podle Sachsovy-Hornbostelovy klasifikace hudebních nástrojů. (Dělení podle typu oscilátoru)

Dnes je to těchto 5 základních skupin:

Chordofony – strunozvučné nástroje (struna)

Idiofony – samozvučné nástroje (tělo nástroje)

Membranofony – blanozvučné nástroje (blána)

Aerofony – vzduchozvučné nástroje (plátek, jazýček, dvojplátek nebo vzduchový sloupec)

Elektrofony – Elektrické nástroje (elektronické oscilátory) [1][6]

1.2 Strunné – smyčcové nástroje

Nejstarší smyčcové nástroje se objevily již několik tisíciletí před našim letopočtem. Nejstarší zmínky pochází z Indie z doby 3000 let p.n.l., kdy byl vytvořen první smyčec a nástroj, pro který byl vytvořen, se jmenoval ravanastron. Vývoj smyčcových nástrojů se lišil v různých částech světa. Například v Evropě se postupně vyvinuly dnes rozšířené smyčcové nástroje, jako jsou housle, viola, kontrabas, a v Asii nástroje vyvinuté pro tamní hudbu jako japonský třístrunný nástroj Kokyu. Excitátorem je zde převážně smyčec, ale používá se i hry za pomoci prstů, ojediněle trsátka a jiných nástrojů.

Oscilátorem je ovšem vždy struna. Původním materiálem byly střeva, dnes se jedná převážně o kov. Struna má různé parametry podle požadavků a konstrukce nástroje. [1]

Vztah pro výpočet základní harmonické frekvence struny z délky struny, síly napnutí a délkové hustoty je

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\eta}} \text{ [Hz]}, \quad (1.1)$$

a pro další harmonické složky

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\eta}} \text{ [Hz]}. \quad (1.2)$$

1.3 Housle

Jedná se o nástroj, který je řazen do strunných – smyčcových nástrojů. Jeho historie sahá až do 16. století, kdy se vyvinuly z jejich předchůdce violy da gamby, což byl až sedmistrunný nástroj opatřený pražci a způsobem hry připomínající hru na violoncello. První moderní housle sestrojil zřejmě Andrea Amati, jemuž byl dán požadavek na nástroj, vhodný pro pouliční umělce. Od stejného houslaře jsou i dnes nejstarší dochované housle, a to z roku 1564.

Housle se velmi rychle rozšířily a staly se jedním z nejoblíbenějších nástrojů. Tvar a parametry houslí se od té doby příliš nezměnily. Došlo pouze k malým úpravám, a to například prodloužení krku a hmatníku, aby bylo hráčům umožněno hraní vyšších tónů. Původní ruční výroba houslařem, jehož um a řemeslo se předávalo z generace na generaci, je dnes již částečně nahrazena manufakturní či strojovou výrobou. Její kvalita se ovšem nedá srovnávat s nástroji vyrobenými v 17. a 18. století významnými houslaři, jako například Antonio Stradivari, či rodina Guarneri, a jsou určeny především pro žáky a začínající houslisty. Všichni houslisté hrající na profesionální úrovni v orchestrech, či jako sólisté, používají housle vyrobené mistry houslaři buď v minulosti, nebo v současnosti za použití stejných postupů jako to dělali houslaři v době baroka, době největšího rozmachu tohoto nástroje. [4] [5]

V současnosti se stále více objevují elektrické housle, u kterých je rezonátor těla houslí nahrazen zpracováním v zesilovači a následnou reprodukcí.

1.3.1 Konstrukce houslí

Konstrukce houslí se dá rozdělit na 2 části:

- tělo houslí – jedná se o ozvučnou skříň houslí neboli rezonátor. Skládá se ze dvou lehce klenutých desek, které jsou za pomoci klíždla spojeny luby, a mají převážně určitý tvar, který se zachovává již mnohá staletí. Pro výrobu se používají různé typy dřeva. Většinou se ale jedná pro vrchní desku o dřevo smrkové, které má ideálně husté zastoupení letokruhů, a pro luby a spodní desku je to dřevo javorové. V horní desce se nacházejí dva otvory ve tvaru písmene f umístěny po stranách kobylky. Tyto otvory mají jednak funkci radiátoru, čímž dávají houslím směrovou charakteristiku, což má za následek, že housle hrají nahoru a mírně dopředu z pohledu houslisty. Otvory dále ovlivňují ohyb horní desky. Na vnitřní straně horní desky je pak umístěn basový trámec. Nachází se pod strunou G (nejnižší tón standardně laděných houslí). Trámec napomáhá jednak ke zpevnění jinak relativně křehké horní desky a dále napomáhá k šíření nižších frekvencí po celé desce. Přenos hlavně vyšších frekvencí mezi horní a spodní deskou zajišťuje duše. Jedná se o dřevěný kolíček, který je umístěn kolmo mezi deskami pod strunou e² v blízkosti nožičky kobylky. Její umístění má veliký vliv na barvu houslí, přičemž již malá odchylka se promítne v barvě houslí. Zároveň podpírá horní klenbu houslí, čímž je celé zpevňuje.
- krk – je připevněn k tělu tak, aby co nejméně ovlivňoval jeho rezonanční vlastnosti. Vyroben je převážně z javoru. Na horní straně je k němu připevněn hmatník. Konec krku tvoří kolíčník s otvory pro uchycení kolíčků k napínání strun a šnekem, který plní spíše estetickou funkci a u některých nástrojů jsou zde různě vyřezané tvary.

K těmto dvěma částem jsou připevněny další prvky, neméně důležité pro tvorbu tónů:

- hmatník – důležitým parametrem pro dřevo hmatníku je jeho tvrdost. U dražších nástrojů se jedná o dřevo z ebenu, u levnějších poté o jiná tvrdá dřeva. Hmatník přesahuje i nad tělo houslí, a to téměř o polovinu své délky, ovšem těla se nedotýká. Nepodílí se totiž na šíření kmitů a byl by pak nežádoucím tlumičem těchto kmitů. Tvar hmatníku je zaoblen tak, aby kopíroval nad ním napnuté struny. Díky tvrdému dřevu a zaoblení je hmatník odolný proti ohybu při hře ve vyšších polohách.
- kobylka – je vyrobena ze dřeva javoru, a i přes malou velikost plní mnoho důležitých funkcí. Díky jejímu tvaru je možné hrát na struny smyčcem odděleně. Udržuje přitom struny v určité vzdálenosti od hmatníku. Přenáší vibrace strun na horní desku, přičemž je to jediný styčný bod s horní deskou nástroje. Výřezy v kobylce neplní pouze estetickou funkci, ale jsou navrženy pro nejlepší možný přenos vibrací. Slouží jako filtr frekvencí. Potlačuje

frekvence strun, které nejsou žádoucí. Umístění kobylky je důležité, aby byla zajištěna dobrá barva houslí. [8]

- struník – tvarem připomíná podlouhlý trojúhelník. Na jednom konci jsou připevněny struny buďto přes doladovače, které jsou dnes již téměř nedílnou součástí a zajišťují velmi snadné a přesné ladění, nebo přímo zachycené v otvorech, čehož bylo využíváno hlavně v minulosti, ale u dražších houslí se s tímto uchycením můžeme setkat u struny E. Na druhém konci je struník přichycen pomocí poutkové struny ke kolíku, který je nazýván žalud a je zasunut do otvoru v lubu. Po natažení strun se proto struník nedotýká horní desky, ale pouze jejího přesahu, který nemá na zvukové vlastnosti téměř vliv. Bývá vyroben ze dřeva, ale v dnešní době i z plastu.
- struny – původní struny byly vyrobeny z ovčích střev. Dnes se občas objevují, ale jedná se spíše o raritu. Dnes se používají vinuté struny s kovovým nebo syntetickým vláknem a kovovým vinutím (hliník, ocel, chrom, titan, stříbro). Struny jsou nataženy od struníku přes kobylku, nultý pražec až do kolíčníku, kde jsou uchyceny kolíčky sloužící k ladění. Standardně se pro housle používají struny naladěné v čistých kvintách a to: G, D¹, A¹, E², kdy struna A¹ mívá frekvenci 440 Hz.
- nultý pražec – je připevněn za koncem hmatníku a zvedá struny nad hmatník, přičemž určuje délku kmitající struny společně s kobylkou.
- smyčec – nejpoužívanější excitátor. Je tvořen dřevěným prutem, na jehož výrobu se používá tvrdé, zpravidla exotické dřevo. K jeho koncům jsou přes napínací mechanismus přichyceny koňské žíně. Ty musí být „namazány“ kalafunou (na žíních se uchytí kalafunový prach), aby byly mírně lepkavé a aby zadrhávaly o strunu, čímž ji rozkmitají.

1.4 Elektrofony

Historie elektrofonů sahá až do 18. století, kdy se vyskytly různé pokusy o zapojení elektřiny do tvorby tónů a hudby. Prvním nástrojem, který stojí za zmínku je Telharmonium, vytvořené zřejmě v roce 1896. Nástroj přenášel elektrické vlny pomocí vedení a byl amplifikován pomocí sluchátek s dlouhým roztrubem. Jednalo se o velmi velký nástroj, který bohužel nevyvolal zájem veřejnosti. Důležitým prvkem bylo tvoření tónu pomocí ozubených zvukových kol. Jsou vytvořeny sinusové vlny, které jsou sčítáním neboli aditivní syntézou převedeny na komplexní spektrum. Na stejném principu fungovaly o 40 let mladší Hammondovy varhany. Tento nástroj se stal symbolem elektrofonů a dodnes se jedná o nástroj velmi používaný. Velmi často se používají nasamplované zvuky tohoto nástroje. Celkově jsou elektrofony spojovány s progresem v hudbě. Postupem času se začlenily a jsou dnes hojně

využívány i v žánrech, které byly vytvořeny před jejich příchodem. Současně ovlivnily žánry, které byly běžné v době jejich pronikání na hudební scénu a mnoho hudebních žánrů vzniklo právě díky elektrofonům.

Elektrofony dělíme podle způsobu vytváření zvuku:

- Amplifikované – jedná se o elektrofony, které vznikly pouhým elektrickým nasnímáním akustického kmitání a jeho zesílením. Jde o klasické nástroje opatřené elektroakustickými snímači, či mikrofonom. Příkladem je amplifikovaná akustická kytara.
- Mechanicko-elektrické – na rozdíl od amplifikovaných nástrojů jsou tyto nástroje určeny pro elektrické využití a mnohdy nemají dobré akustické vlastnosti. U těchto nástrojů se snímají pouze slabé mechanické kmity (tělo nástroje neslouží jako hlavní rezonátor) a po převodu akustických kmitů na elektrické jsou tyto kmity často externě upravovány a amplifikovány. Nejběžnějším příkladem je elektrická kytara. Pro snímání jsou zde užívány snímače snímající pouze kmity strun, tzv. elektromagnetické.
- Elektromechanické – můžeme rozdělit na 2 podskupiny:
 - Kontaktní systémy – principem fungování těchto nástrojů je po mechanickém stisknutí například kláves přehrát zvuk, který je zaznamenán na magnetofonových páskách nebo deskách. To se provede kontaktem čtecí hlavy s páskem či deskou. Příkladem tohoto nástroje je Mellotron.
 - Bezkontaktní systémy – u těchto nástrojů nedochází k přehrávání předem nahraných zvuků, ale za pomoci elektromechanických rotačních generátorů k tvoření tónů. Nejznámějším zástupcem této kategorie jsou Hammondovy varhany. Zde dochází za pomoci generátorů ke změně magnetického pole v blízkosti cívky, což způsobí indukování napětí a proudu na cívkce.

Elektronické – Zvuk vzniká pouze v elektrické podobě. Mezi tyto nástroje se řadí takzvané syntetizéry. Podle typu obvodu můžeme tyto nástroje rozdělit na analogové, analogově-digitální, digitální. Analogové nástroje využívají elektrický oscilátor a signál je dále upravován za pomoci modulátorů a filtrů. Řadí se mezi ně i první sampler Mellotron. Digitální nástroje používají pro tvorbu zvuku pouze číslicové systémy. Analogově-digitální nástroje kombinují elektronické obvody s oscilátory a digitální zpracování. Často se jedná o digitální paměť, která slouží k uložení analogových parametrů syntetizéru. Mezi digitální patří i v poslední době oblíbené digitální samplery.

[2]

1.5 Ladění

Ladění nám udává uspořádání tónu ve stupnici podle poměru frekvenční vzdálenosti mezi jednotlivými tóny. Rozlišujeme dvě základní skupiny ladění. Čisté a temperované. Za základní frekvenci pro ladění se používá frekvence „komorního A“ 440 Hz. Tato hodnota není stálá, například v období baroka byla tato hodnota okolo 390 Hz, dnes se běžně používá i frekvence 442 a 443. Hodnota 440 Hz je ovšem v současné době nejrozšířenější. Třetí skupinou jsou mikrotonální ladění. [6]

1.5.1 Čisté ladění

Čisté ladění bývá také označované jako přirozené. U tohoto typu ladění jsou využívány tóny, jejichž frekvenční poměry lze vyjádřit celými čísly. V Evropě jsou tradiční poměry: oktáva 2:1, kvinta 3:2 a tercie 5:4. Bohužel malý počet tónů v oktávě způsobí, že dochází ke vzniku nelibozvučných intervalů. Další nevýhodou je nemožnost provedení enharmonické záměny ($E\# \neq F$) Čisté ladění je vhodné pouze pro použití nástrojů, které nemají dané frekvence tónů. Například pro klavír je toto ladění nevhodné, ale používá se pro housle.

1.5.2 Temperované ladění

Temperovaná ladění byla vytvořena, aby co nejvíce odstranila nedostatky čistého ladění. Mohou být rozdělena na nerovnoměrně temperovaná a rovnoměrně temperovaná. Nerovnoměrně temperovaných ladění vzniklo několik druhů a u většiny z nich lze provést enharmonickou záměnu. Nejznámějším nerovnoměrným laděním je ladění středotónové. Jedná se o nejrozšířenější ladění 16. - 17. století, čili rané barokní hudby. U tohoto ladění nelze provést enharmonická záměna. Nejpoužívanějším temperovaným laděním je ladění rovnoměrně temperované. Odstranění nedostatků čistého ladění je zde dosaženo mírným rozladěním jednotlivých intervalů čistého ladění. Oktáva je rozdělena na 12 stupňů, přičemž všechny stejné intervaly jsou stejně velké (všechny sekundy mají stejnou velikost, všechny tercie atd.) a jsou kromě oktávy mírně rozladěné. Ladění je vhodné pro modulaci, kde nedochází s větší vzdáleností tónů k rozladění a jsou zachovány velikosti intervalů. Frekvence tónů lze vyjádřit geometrickou posloupností. Kvocientem této posloupnosti je $\sqrt[12]{2}$, tudíž platí vzorec pro výpočet n-tého stupně oktávy vycházející z frekvence 440 Hz (a_1), jejich celočíselných násobků a jejich převrácených hodnot. Prvním vzorcem

$$440 \cdot x = f_a, \quad (2.3)$$

kdy za x dosadíme celočíselné násobky a jejich převrácené hodnoty, nám vyjde frekvence nejbližšího spodního tónu A od námi hledané frekvence. Druhým vzorcem

$$f = f_a \cdot q^n \quad (3.4)$$

zjistíme frekvenci tónu v rovnoměrném středotónovém ladění, kdy za q dosadíme hodnotu $\sqrt[12]{2} \approx 1,059463$ a za n pořadí stupně tónu ve 12° oktávě, od tónu A .

1.5.3 Mikrointervalové ladění

Mikrointervalové ladění umožňuje použít jakékoliv vzdálenosti mezi tóny. Může se jednat o pravidelné nebo nepravidelné vzdálenosti. Neobvyklostí oproti jiným laděním je především používání intervalů menších než 1 půltón. Ladění lze použít v případech:

- speciálně upravených nástrojů, jako je třeba mikrotonální klavír nebo čtvrttónová trubka,
- přeladění ať už dočasným nebo trvalým téměř všech nástrojů. Trvale třeba u marimby, vibrafonu, xylofonu a dočasně u harfy, klavíru, kytary nebo cembala,
- nástrojů, které umožňují hraní celého spektra frekvencí v určitém rozsahu. Jedná se o smyčcové nástroje, pozoun, teremin, a nebo lotosovou flétnu. [6]

1.6 Snímače pro housle

Pro snímání klasických houslí se dají využít dva základní typy snímače. Prvním z nich je kontaktní piezoelektrický snímač (snímá tělo houslí) a druhým elektromagnetický snímač (snímá pouze struny).

1.6.1 Piezoelektrický snímač

Existují dva typy tohoto snímače s rozdílným použitím. První z nich se umísťuje za kobylku houslí. Jedná se o snímač, který snímá housle tak, jako by byly snímány mikrofonem. To znamená, že na výsledném zvuku se podílí celé housle. Tento snímač je nevhodný na hlučná pódia, kdy je náchylnější ke zpětné vazbě, ale zároveň zachovává zvukové vlastnosti houslí. Druhý typ snímače se umísťuje pod kobylku nebo přímo do

kobylky. Tento snímač snímá více frekvence přicházející přímo od strun, ale zachovává některé vlastnosti těla houslí. Tyto snímače fungují na principu Piezoelektrického jevu. Jedná se schopnost krystalu generovat elektrické napětí dochází-li k jeho deformaci. Musí se jednat o polykrystalické látky. Piezoelektrický snímač je tvořen krystalem umístěným mezi dva plíšky, ze kterých je odváděn náboj.

1.6.2 Elektromagnetický snímač

Jedná se o snímač, který je používán u elektrických kytar. Tento snímač za pomoci elektromagnetické indukce převádí kmity strun na elektrický signál. Musí se ovšem jednat o struny ocelové. Ty svými kmity vytváří v magnetickém poli snímače změny, které se projeví vznikem signálu, který je přiveden na výstup snímače. Indukované napětí nemusí vytvářet pouze struna, jedná se však o nejčastější způsob. Výsledný signál je velmi slabý a je nutné jeho zesílení zesilovačem, obsaženém buď v mixážním pultu, nebo jiném zařízení. (Pro vysokoimpedanční signál se může jednat o zesilovač zabudovaný v kombi nebo samostatně, pro nízkoimpedanční se může jednat o mikrofonní předzesilovač.) Elektromagnetický snímač obsahuje jednu nebo více cívek. Tyto cívky obsahují magnetické jádro. Ideálním jádrem jsou neodymové magnety. Jádro vytvoří magnetické pole cívky, v němž dochází ke kmitání struny a vzniku indukce na cívce, čímž je vytvořen elektrický signál. Nejčastěji jsou používány tyto dva typy snímačů:

- Single coil – obsahuje jednu cívku a jeho výstupní signál je relativně silný. Je zároveň náchylnější na okolní rušení, což se projeví tím, že snímač generuje tzv. brum. (Problémem je hlavně síťové rušení, což je v našich podmínkách 50 Hz.)
- Humbucker – Je složen ze dvou cívek s opačným vinutím a společného magnetického pole. Opačná polarizace cívek způsobí to, že se rušení na těchto cívkách odečte. Tato konstrukce minimalizuje vznik brumu, protože snižuje náchylnost na rušení. Nevýhoda u tohoto zapojení je útlum na vyšších frekvencích a slabší výstupní signál. Ten lze navýšit zapojením více cívek do série.

Důležitým parametrem jsou použité materiály. Pro vinutí cívky se používá měděný smaltovaný drát různých poloměrů. Za magnetické jádro je vhodné zvolit neodymové magnety (NdFeB). Jedná se o dražší magnety, ale svými vlastnostmi jsou vhodné pro konstrukci snímačů.

Správné umístění snímače pod strunou je důležité pro rovnoměrného zvuku. Umístění u houslí je o něco složitější než u kytary. Je to z důvodu používání smyčce jako excitátoru. Ten svým pohybem nuceně vyvolává kmity ve směru tahu smyčce, čímž se struna nevzdaluje dostatečně od pólu magnetu pro vytvoření dostatečně silného výstupního signálu. Tento jev nastane, umístíme-li snímač přímo pod strunu. Proto se při výrobě snímačů pro housle volí umístění dvojice snímačů mezi struny G, D a A, E. Pohyb struny vyvolá na tomto snímači větší změny v magnetickém poli. Tím dojde k navýšení a odstranění zkreslení výstupního signálu. Zároveň je vhodné tyto snímače naklonit podle strun, aby byla jejich vzdálenost ke snímači stejná.

Snímače lze rozdělit podle impedance na nízkoimpedanční a vysokoimpedanční. (Impedance snímače [Ω] – jedná se o impedanci závislou na kmitočtu. Obsahuje reálnou a imaginární složku. Je rozdílná pro různé kmitočty, a proto se často uvádí pro hodnotu 1 kHz.)

Nízkoimpedanční snímače – Impedance se u tohoto snímače pohybuje řádově ve stovkách Ω . Počet závitů cívky je u tohoto snímače okolo 2500 závitů. Výstup je proto podobný jako mikrofonní výstup a jeho rezonanční kmitočet je téměř za hranicí slyšitelného pásma. Snímací charakteristika je proto širší a jsou zde početněji zastoupeny vyšší frekvence. Proto je tento signál více podobný zvuku houslí a je vhodnější pro tento nástroj než vysokoimpedanční snímač. Výstupní signál je ovšem slabší, a proto je potřeba použití mikrofonního předzesilovače. Výhodou je možnost přímého zapojení do mixážního pultu, není zde zapotřebí Hi-z vstup, a to, že délka vedení signálu nemá na jeho kvalitu téměř vliv.

Vysokoimpedanční snímač – impedance se pohybuje mezi 5–20 k Ω . Počet závitů je mezi 10–12 tisíci. Tento typ bývá používán u elektrických kytar. Nežádoucím jevem je zde rezonanční maximum v mezi 2–6 kHz. Od této hodnoty dochází k útlumu se strmostí 12 dB/oktávu. Výhodou je možnost přímého zapojení do kytarového komba a efektů bez mikrofonního předzesilovače. Nevýhodou je vliv délky vedení na kvalitu. Nevýhody lze odstranit použitím Di boxu pro prodloužení délky vedení a úpravou kmitočtové charakteristiky lze docílit eliminování rezonančního maxima.[11]

1.7 Korekční předzesilovač

Korekční předzesilovač slouží k úpravě zabarvení signálu. Často se jedná o dvoupásmové korekce – basové a výškové frekvence, nebo trojpásmové korekce – basové, středové a výškové frekvence. Podle typu obvodu se dělí na pasivní a aktivní. U pasivního obvodu dochází pouze ke korekcím. Tento obvod nemá vnější napájení, a proto je výstupní signál utlumen oproti vstupnímu. Obvod aktivního korekčního předzesilovače obsahuje vnější napájení a jeho výstupní signál lze proto zesílit nebo utlumit. Toto je umožněno díky zavedení zpětnovazebné větve do obvodu předzesilovače. Původně se jednalo o obvody s tranzistory, v dnešní době jsou už nahrazovány operačními zesilovači. [3] [7]

1.8 DI-Box (Direct injection, Direct input, Direct interface)

Přístroj používaný v audio průmyslu pro úpravu signálu, ať už se jedná o převod nesymetrického signálu na symetrický, nebo vysokoimpedančního na nízkoimpedanční. Dále přizpůsobuje úrovně signálu nebo například odzemní nástroj, dochází-li v jeho vedení ke smyčkám, a tím pádem rušivým jevům. Di-boxy mají základní dělení na aktivní a pasivní.

Pasivní di-box má velmi jednoduchou konstrukci. Základním prvkem je transformátor, který zajišťuje symetrizaci a úpravu úrovně. Jeho transformační poměr je 1:1 a pro dobré vlastnosti Di-boxu je nutné pořídit kvalitní transformátor. Pasivní Di-box slouží také k izolaci od případného fantomového napájení. Nevýhodou je závislost vstupní a výstupní impedance na připojeném zdroji signálu.

Aktivní Di-box potřebuje pro svůj provoz externí napájení. To zajišťuje buď baterie nebo fantomové napájení přípojného zařízení. Konstrukce tohoto Di-boxu je náročnější, ale umožňuje volbu úrovně a impedance. Díky těmto vlastnostem se s ním setkáme častěji než s pasivním, ale i pasivní Di-box je dostatečně rozšířen. [3] [7]

1.9 EBow

Jedná se o elektrické zařízení sloužící k rozkmitání strun za pomoci elektromagnetické indukce. Obsahuje snímač (podobný kytarovému), který snímá pohyb strun a převede jejich kmity na elektrické. Ty následně amplifikuje a za pomoci cívky zesílí kmity na struně, čímž vytvoří nekončící vibrace struny, dokud se od ní nevzdálí. Podmínkou funkčnosti jsou kovové struny, aby mohla vzniknout indukce na snímači přístroje. EBow je znám především pro použití ke hře na elektrickou kytaru, ale je používán velmi malým procentem kytaristů. Použití je ovšem možné u všech nástrojů s kovovými strunami jako je klavír, citera nebo spinet.

1.10 Elektromotor

Je zde uveden, protože bude použit jako základní prvek experimentálního excitátoru.

Elektromotor je elektrický stroj sloužící k přeměně elektrické energie na mechanickou. Pro jejich provoz lze využít jak střídavý, tak stejnosměrný proud. Většina elektromotorů využívá vzájemného silového působení magnetického pole a elektrického proudu procházejícího cívkou. Tato síla se nazývá elektromagnetická, či Lorentzova. Síla vznikne složením sil elektrické a magnetické. Tato síla vzniká v magnetickém poli vodiče, kterým protéká proud. Platí vzorec

$$F = B \cdot q \cdot V . \quad (1.5)$$

Princip fungování elektromotoru tedy spočívá ve vzájemném přitahování a odpuzování dvou a více elektromagnetů.

Části elektromotoru:

Rotor – otočná část elektromotoru. Obsahuje magnetický obvod s vloženým motorovým vinutím a permanentní nebo elektro magnety umístěné na hřídeli.

Stator – pevná část elektromotoru. Obsahuje magnetický obvod s budícím vinutím a cívky statorových vinutí. Okolo statoru se nachází kryt, který je připevněn k podložce. Připevněním zajišťuje reakci silového působení stroje a zároveň kryt obstarává jeho chlazení, protože při chodu elektromotoru vzniká ztrátové teplo.

Vzduchová mezera – mezi rotorem a statorem se nachází vzduchová mezera díky níž se rotor může otáčet. Konstrukce elektromotoru má za cíl dosáhnout co nejmenší mezery. Intenzita magnetického pole totiž klesá se vzdáleností.

Cívky – vytvářejí sprážené elektromagnetické pole. Nalezneme je jak v rotoru, tak statoru, pokud v jedné z těchto dvou částí nejsou použity permanentní magnety. Cívky ve vinutí statoru (rotoru) jsou na těchto částech vhodně rozmístěny, aby bylo dosaženo co nejlepšího tvaru pole pro lepší účinnost elektromotoru.

Ložiska – jsou umístěná jak na přední části motoru, kde je vyvedena hřídel rotoru, tak na zadní části, aby bylo zajištěno lepší a pevnější usazení rotoru ve statoru. Jsou vsazena do ložiskových štítů. Čím je odpor ložisek menší, tím je účinnost stroje větší.

Chlazení – může být buďto přirozené, kdy není přidán žádný mechanismus do motoru a teplo odchází stěnami motoru, nebo nucené. U nuceného chlazení může být připojen ventilátor na hřídel, nebo externě. Dále bývá využíváno chlazení kapalinou nebo plynem (například vodík). V motoru vzniká teplo na ložiscích (mechanické ztráty), v magnetickém obvodu (vířivé proudy) nebo ve vinutí (Ohmické ztráty). Při nedostatečném chlazení dochází k rychlejšímu stárnutí vinutí. U permanentních magnetů může nastat odmagnetování. To nastane při překročení teploty známé jako Curieova teplota.

Komutátor – jedná se o prstenec složený ze vzájemně izolovaných lamel (lamela – vodivé prvky umístěné po obvodu rotujícího mnohokontaktního mechanického usměrňovače). K jednotlivým lamelám jsou připojeny jednotlivé vývody cívek rotoru. Komutátor je připevněn na hřídeli a ve stejnosměrném stroji slouží jako usměrňovač napětí a proudu cívek rotoru. [10]

1.11 Regulátor otáček stejnosměrných elektromotorů

Taktéž se jedná o prvek experimentálního excitátoru.

Prvek je po zapojení do obvodu schopen regulovat otáčky elektromotoru díky změně napájecího napětí elektromotoru. Pokud je regulátor dobře navrhnut, je schopen regulovat otáčky v rozsahu téměř 100 %. To znamená od velmi pomalého otáčení až po maximální

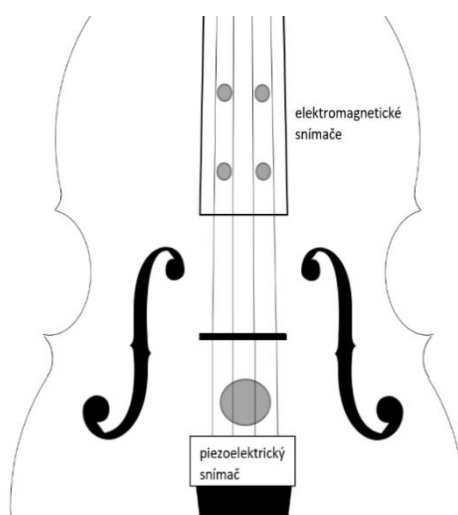
otáčky elektromotoru. Jednoduché regulátory jsou nastavovány pomocí otáčivého potenciometru, ty složitější mohou být řízeny například počítačem nebo kontrolerem.

2. NÁVRH

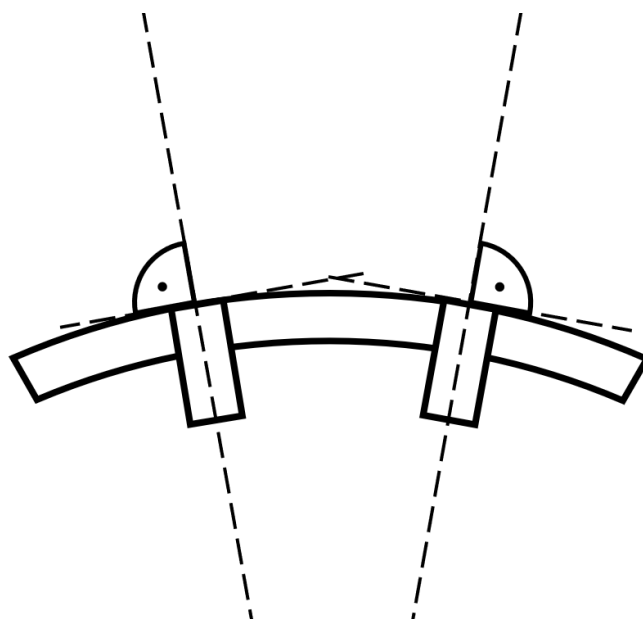
Navrhovaný experimentální nástroj vychází z konstrukce klasických houslí. Cílem bylo vytvořit nástroj přívětivý pro hraní často používaných akordů na housle, přičemž je možnost použití hry jak klasickým smyčcem, tak experimentálními excitátory, které byly vyrobeny, nebo jsou používány u jiných nástrojů. Pohodlnost hraní akordů je zajištěna speciálním laděním a opožďováním hmatníku houslí. Dalším cílem bylo vytvoření kvalitního snímání houslí, které je kombinací přímého snímání strun elektromagnetickým snímačem a těla houslí piezoelektrickým snímačem, korekcí výstupního signálu a jeho převod na signál symetrický.

2.1 Konstrukce houslí

Výchozím bodem pro konstrukci byly klasické housle, na kterých jsou provedeny úpravy popsané v této práci. Z původních houslí je použito tělo s krkem, kobylka a struník. Pro pohodlnější hraní mělo dojít k rozšíření hmatníku a krku, aby byly struny více vzdáleny od sebe. Bude se jednat pouze o malé rozšíření, aby krk neobtěžoval při hraní. Tuto úpravu lze provést nahrazením houslového hmatníku violovým a jeho následnou úpravou. Před přiděláním hmatníku bylo zapotřebí do něj umístit snímače. Jejich rozmístění je viditelné na nákresu:



Obrázek 2.1 Umístění snímačů na houslích

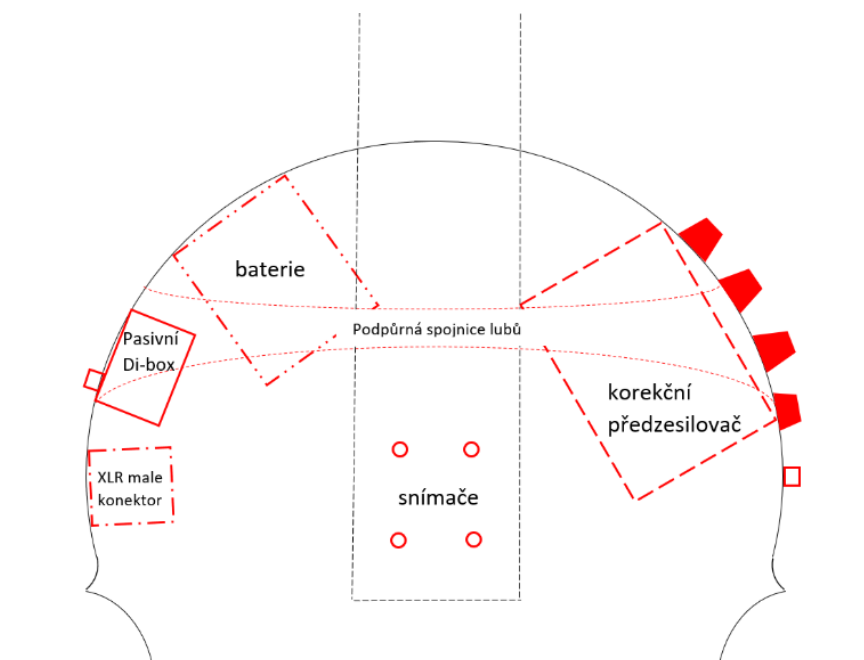


Obrázek 2.2 Průřez hmatníkem znázorňující umístění elektromagnetického snímače

Do hmatníku jsou implementovány dva elektromagnetické snímače typu Humbucker zapojené sériově. Tento typ snímače je zvolen na základě lepších vlastností, které jsou uvedeny v kapitole 1.5.2. Dva snímače jsou zvoleny pro lepší pokrytí strun, kdy jeden snímač bude snímat první dvě struny a druhý třetí a čtvrtou. Další snímač bude piezoelektrický. Ten měl být umístěn za kobylkou houslí. Snímač je přidán, aby bylo možné vytvořit více barev za pomoci externího smíchání výstupních signálů v různých poměrech. Úpravou kromě hmatníku musel projít i nultý pražec houslí. Při hraní na běžné housle jsou totiž struny příliš nízko a nedovolily by pod ně umístit pražce. Nultý pražec proto bude nutné vyvýšit. Největším zásahem je umístění součástek do útrob houslí a jejich výstupy. Při zásazích do konstrukce houslí bylo snahou zamezit nežádoucím změnám na akustické vlastnosti houslí. Proto jsme se vyhnuli kontaktu s horní a spodní deskou houslí. Pro uchycení součástek slouží spojnice připevněná k vnitřní straně lubů houslí. Do lubů museli být vytvořeny vstupní a výstupní otvory. Jedná se o otvor pro pouzdro na baterii, která slouží k napájení korekčního zesilovače. Přístup k baterii je nutný z povrchu houslí, aby při její výměně nemuselo dojít k rozebrání houslí. Další otvory jsou potřeba pro možnost ovládání proměnných parametrů obvodů. Jedná se o tři potenciometry úpravy kmitočtů na korekčním zesilovači, potenciometr pro celkovou hlasitost korekčního předzesilovače, přepínač vstupní citlivosti předzesilovače a spínač pro přepínání země na zabudovaném Di-boxu. Výstup je ve formě mikrofonního XLR

výstupu. (Výstup piezoelektrického snímače neměl být z vnitřní části houslí z důvodu odnímání tohoto snímače.)

Nákres umístění elektronických prvků v houslích je na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3 Umístění prvků obvodu elektromagnetického snímače a jeho ovládacích prvků

2.1.1 Konstrukce snímačů

Elektromagnetický snímač – na základě lepší charakteristiky a jednodušší konstrukci jsem se rozhodnul pro nízkoimpedanční snímač. Počet závitů jedné cívky je 2500. Tato hodnota je považována za jednu z nejvhodnějších. Vinutí je provedeno měděným smaltovaným drátem o průměru 0,1mm. Jádrem tvoří neodymové magnety NdFeB. Cívky snímače mají opačné vinutí. Snímač je uzemněn za pomoci plíšku. Kryt snímače měl být po sestrojení snímače vymodelován na počítači a vytisknut za pomoci 3D tisku. Snímač je připojen ke korekčnímu předzesilovači.

Piezoelektrický snímač – základem je piezoměnič. Ten je složen ze tří částí. Spodní část tvoří tenký mosazný plíšek. K němu je připájeno stínění kabelu. Na tomto plíšku je přilepen samotný piezokrystal. Třetí vrstvu tvoří pokovování vrchní strany krystalu. Pro pokovování bývá často použito stříbro. Na tuto vrstvu je připájen živý vývod kabelu. Celý snímač měl být ukryt do plastového krytu. Pro připevnění k houslím měl být využit netvrdnoucí tmel. Tento snímač měl být při připevnění na povrch odnímatelný. Je to z důvodu působení tmele na lak, kdy při ponechání snímače na houslích po dobu delší

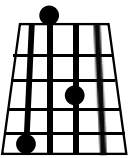
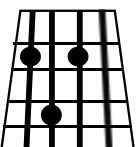
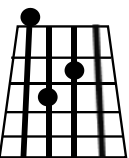
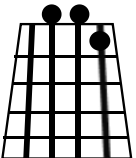
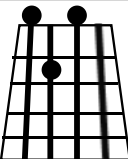
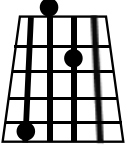
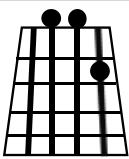
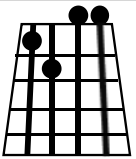
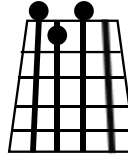
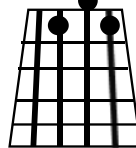
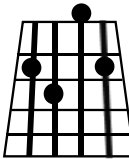
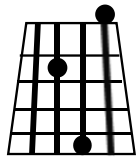
než tři týdny, jsem pozoroval odstranění laku, a tím pádem narušení povrchové úpravy houslí. Výstup snímače je proveden nesymetrickým vedením s konektorem pro použití kabelu TS (kabel pro připojení jack mono 6,3mm). Živý vodič je připevněn ke kontaktu T a stínění bude připojeno ke kontaktu S.

2.1.2 Struny a jejich ladění

Struny pro tento nástroj musí být vyrobeny z kovu. Výběr strun je velmi důležitý. Cílem bylo použití dvou různých sad strun. První sada měla umožňovat hrát v temperovaném ladění. Toho mělo dosaženo správným rozmístěním pražců. Základní tóny a kmitočty jednotlivých strun měly být:

- d_1 – 294,66 Hz
- e_1 – 329,63 Hz
- a_1 – 440 Hz
- h_1 – 493,88 Hz

Tyto tóny byly vybrány záměrně, aby se daly zahrát nejčastěji používané akordy co nejjednodušeji, a to při maximálním využití prázdných strun. Přehled prstokladů pro často používané akordy je na obrázku 2.4.

C		E		G		A _{mi}	
D		E _{mi}		A		H ₇	
D _{mi}		F		A ₇		H _{mi}	

Obrázek 2.4 Schéma možných prstokladů akordů v ladění D, E, A, H

Druhá sada strun měla být vybrána tak, aby při stejném rozmístění pražců umožňovala mikrointervalovou hru. Záměrem bylo rozdělení oktávy na neobvyklý počet dílů. Zajímavé může být dělení na 13 nebo 17 dílů a tím pádem vytvoření experimentálního ladění houslí.

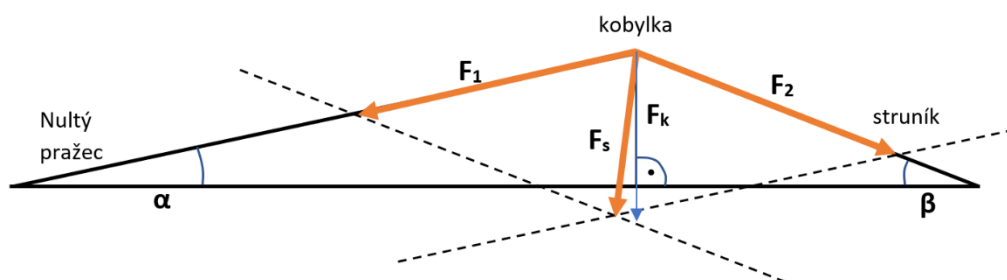
Přesnější parametry strun nebyly při návrhu známy. Bylo to způsobeno nemožností proměřit housle. Neměl jsem možnost použít potřebné měřicí přístroje. Aby bylo docíleno pohodlného hraní na tento nástroj, měly se pražce umístit dál od sebe, čímž mělo dojít ke

zmenšení rozsahu struny. Bylo ale nutné napřed změřit jednotlivé síly, které můžou na housle působit, aniž by došlo k jejich trvalé, nebo dočasné deformaci. Rozestupy prážců ale neměly být moc velké, aby byly akordy pohodlně hratelné v rozsahu prstů houslisty. Po tomto proměření měli být vyhotoveny struny na míru pro tento nástroj. Místo toho nám toto měření pomohlo zjistit maximální napětí strun, pro různé experimentování s nástrojem

Postup měření:

V prvním bodě byla proměřena závislost působení sil na horní desku a zjištěna maximální síla kterou můžeme vyvinout na horní desku houslí, aniž by došlo k její deformaci. V druhém bodě jsem měl proměřit frekvenční přenos kobylky při různém působení sil.

Tyto dvě hodnoty měly sloužit jako maximální možná hranice síly, kterou může struna na kobylku vyvinout. Rozložení sil je znázorněno na obrázku 2.5.



Obrázek 2.5 Rozklad sil struny působící na kobylku houslí

Síly F_1 a F_2 jsou shodné, úhel alfa je menší než beta. Je zde patrné, že síla nepůsobí kolmo na kobylku, ale je mírně vychýlená. Toto vychýlení je vyrovnáváno konstrukcí kobylky.

Ze vzorce

$$f_f = \frac{1}{2L} \times \sqrt{\frac{Q_s}{\mu}}, \quad (2.1)$$

kde f_f je hodnota fundamentu struny, L je kmitající délka struny, Q_s je napětí na struně a μ je délková hustota struny, budeme určovat parametry strun. Maximální napětí všech strun získáme výpočtem podle vzorce

$$Q_c = \frac{F}{S}, \quad (2.2)$$

do nějž dosadíme sílu působící na strunu vycházející z měření a za obsah doplníme součet obsahů strun. Jelikož jednotlivé obsahy strun neznáme, vynásobíme součet klasických houslových strun číslem 1,1. Díky tomu budeme mít rezervu. V návrhu strun se mělo vycházet z violové struny A. Podle ní se měla určit potřebná vzdálenost mezi pražci, jestli bude třeba tyto vzdálenosti rozšířit nebo zmenšit, a navrhnout parametry strun.

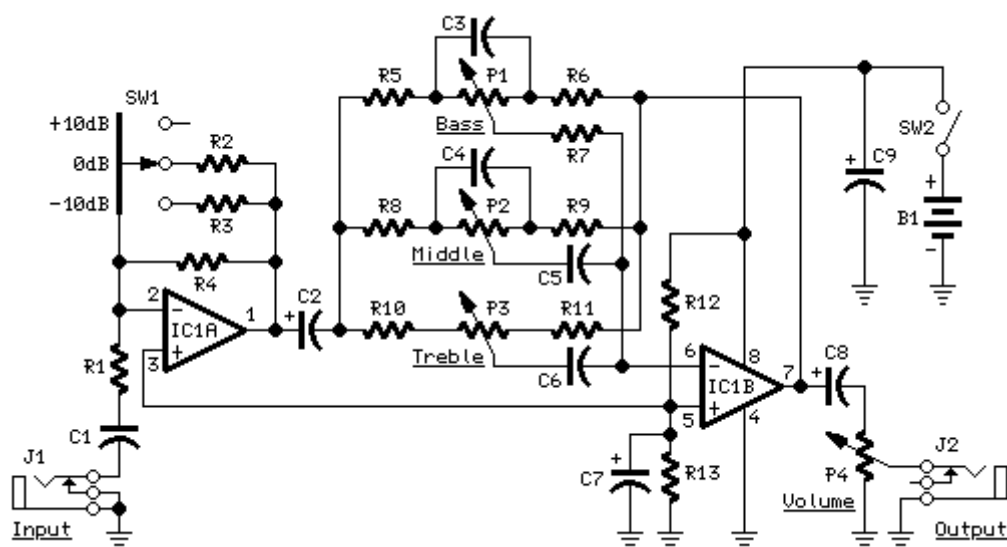
2.1.3 Pražce

Pražce jsou vyrobeny z drátu nazývaného MsNi. Jedná se o drát určený právě k výrobě pražců. Šířka pražce měla být 1,3mm, což je hodnota převzatá z mandolíny, která má s houslemi mnoho společného. Materiál drátu bude $\text{CuNi}_{12}\text{Zn}_{24}$. Rozvržení pražců mělo být možné až po změření vyrobených strun, aby bylo zajištěno co nejpresnější ladění.

2.1.4 Korekční předzesilovač

Korekční předzesilovač vychází z návrhu ze stránky redcircuits.com. Tento návrh je volně použitelný. Tento korekční předzesilovač umožňuje nastavení vstupní citlivosti v rozsahu +10 dB, 0dB, -10dB. Dále obsahuje možnost korekce kmitočtů. Jedná se o třípásmový ekvalizér. První pásmo se nachází na frekvenci 30Hz. Jeho rozsah je $\pm 15\text{dB}$. Druhé pásmo má středovou frekvenci 1kHz s rozsahem $\pm 19\text{dB}$. Vrchní pásmo má středovou frekvenci 10kHz a rozsah $\pm 16\text{dB}$. Hodnota THD je méně než 0,012%. Je udávána pro kmitočet 1kHz a výstupní napětí 2V RMS. Frekvenční rozsah pokrývá celé slyšitelné pásmo (20Hz – 20kHz). Pro napájení je použita 9V baterie. Schéma korekčního předzesilovače je na obrázku 2.6.

Obrázek 2.6 Schéma korekčního předzesilovače [9]

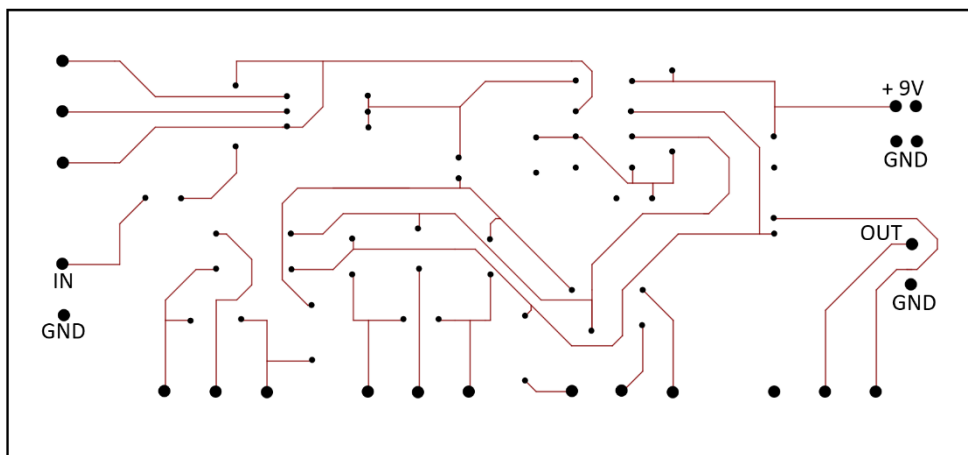


Seznam součástek je uveden v tabulce 2.1. Dva operační zesilovače jsou nahrazeny dvojítm OZ typu TL062 DIL.

Tabulka 2.1 Seznam součástek korekčního předzesilovače

Název ve schématu	Hodnota a typ součástky
P1, P2	100k/N lineární potenciometr
P3	470k/N lineární potenciometr
P4	10k/G logaritmický potenciometr
R1	150k
R2	220k
R3	56k
R4	470k
R5-R7	12k
R8, R9	3k9
R10, R11	1k8
R12, R13	22k
C1	220nF/63V fóliový RM5
C2, C8	4u7/63V elektrolytický RM2
C3	47nF/63V fóliový RM5
C4, C6	4n7/63V fóliový RM5
C7, C9	100uF/25V elektrolytický RM3.5
IC1	TL062 DIL
J1, J2	Faston do PCB
X1, X2	AK300/2, nebo minifaston
X3	AK300/3, nebo minifaston

Zapojení korekčního předzesilovače je pomocí plošného spoje. Návrh tohoto spoje je na obrázku 2.7.

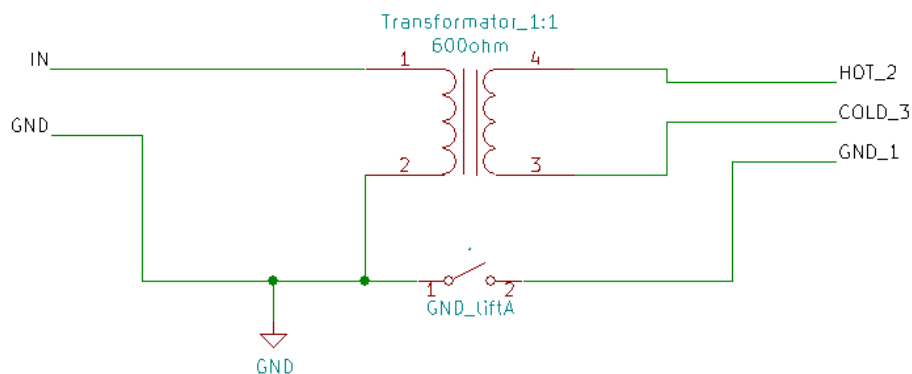


Obrázek 2.7 Návrh plošného spoje korekčního předzesilovače

2.1.5 Integrovaný Di-box

Pro převod nesymetrického výstupního signálu z korekčního předzesilovače na symetrický jsem se rozhodl implementovat do houslí pasivní snímač. Návrh Di-boxu je na obrázku 2.8.

Pasivní Di-box jsem vybral z důvodu jednodušší konstrukce a hmotnosti. Pasivní Di-box je lehčí než aktivní, a protože je uchycen přímo v houslích, není žádoucí aby svou hmotností neumožňoval volné držení houslí, kdy je hmotnost celého nástroje nesena bradou.

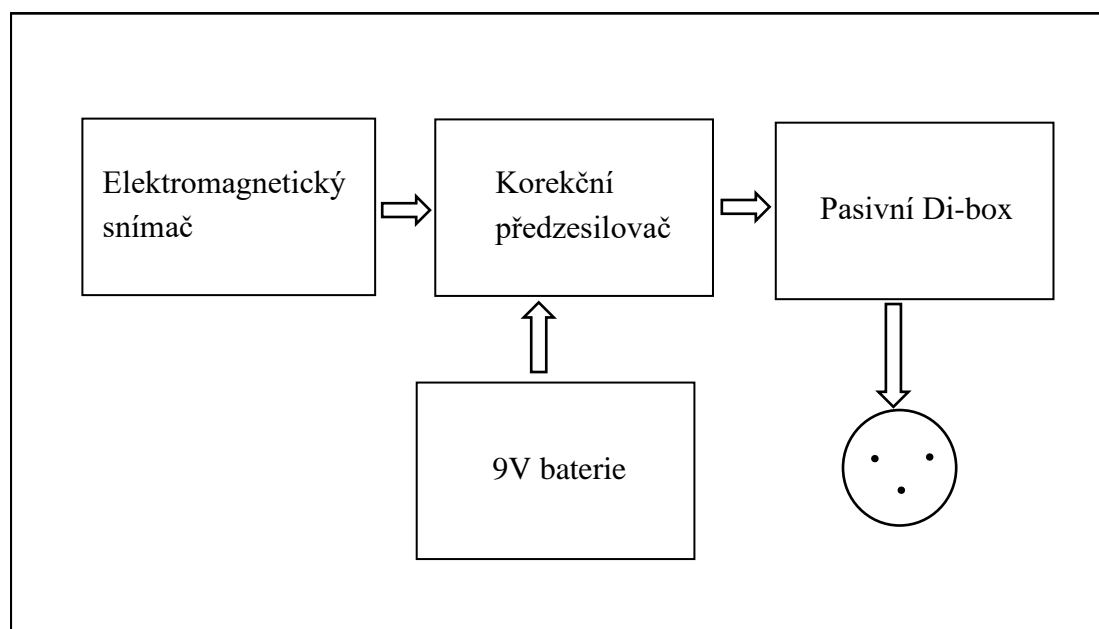


Obrázek 2.8 Schéma základního pasivního Di-boxu

2.2 Návrh obvodu elektromagnetického snímače, korekčního předzesilovače a Di-boxu

Blokové schéma obvodu elektromagnetického snímače je na obrázku 2.9.

Signál vyvolaný působením struny na magnetické pole snímače je napřed veden jako nesymetrický. Konec vinutí dvojice snímačů je připevněn ke vstupu KP. Vstup je na plošném spoji označen jako IN. Začátek vinutí je připevněno k zemi, která se nachází pod vstupem IN. Dále se na vstup označený +9 V připojil kladný pól 9 V baterie. Záporný pól je připevněn k zemi, která se nachází pod vstupem baterie. Výstup stále nesymetrického signálu KP je spojen se vstupem Di-boxu. Zem KP je propojena se zemí Di-boxu. Převezený symetrický signál spolu se zemí jsme přivedli na XLR MALE konektor. Připojení je provedeno tak, jak je znázorněno na obrázku 2.9.



Obrázek 2.9 Blokové schéma obvodu elektromagnetického snímače

2.3 Konstrukce excitátoru

Excitátor za pomoci otáčivého pohybu rozeznívá struny díky různým nástavcům. Jeho konstrukce se skládá ze stejnosměrného elektromotoru, regulátoru otáček a 9V baterie. Obvod bude ukryt do krytu. Na hřídel elektromotoru je přidělán nástavec čtvercového půdorysu s magnetem. Ten zajišťuje pevné spojení s hlavicemi excitátoru, ale zároveň jejich snadnou výměnu. Hlavičky jsou uzpůsobeny pro snadné nasazení na hřídel. Část hlavičky, která se bude nasazovat na elektromotor, je vyrobena z kovu, aby se spojila s magnetem.

K rozšíření možností rozeznívání nástroje byl použit ještě E-bow, neobvyklý pro housle. Jeho konstrukce ovšem nebyla provedena. Bude sloužit pouze k demonstraci možností hry na housle.

2.3.1 Elektromotor

Elektromotor bude stejnosměrný. Parametry elektromotoru:

provozní napětí: 6-14 V

max. účinnost: 8768 ot/min, 0.726 A

točivý moment: 62.5 gcm

výkon: 5.617 W

účinnost: 59.58%

Tento motor byl vybrán, protože je možné jej napájet 9 V baterií a má dostatečný výkon.

2.3.2 Regulátor

Jako regulátor je vybrán impulsní PWM regulátor stejnosměrných motorů do 5 A. Napájecí napětí regulátoru je mezi 5-35 V, takže může být připojen k 9 V baterii. Tento regulátor byl vybrán hlavně pro svůj velký rozsah regulace. Ta činí 1-100 %. Regulátor obsahuje 4 svorky. Dvě pro připojení baterie a dvě pro připojení motoru. Při připojování baterie se budeme řídit znaménky + a -. Pro připojení motoru nezáleží na znaménkách. Ty nám pouze určují směr otáčení motoru, což pro vymyšlené hlavičky není podstatné.

2.3.3 Výměnné hlavičky excitátoru

Na excitátor mohou být připojeny různé, ovšem především kruhové hlavičky. Je zde umožněn vývoj nových hlavic, kdy všechny budou vycházet ze stejného uchycení k hřídeli motoru. V realizaci bakalářské práce byla sestavena tato hlavička.

Rotující kruhový smyčec – tato hlavička umožňuje hrát jakékoliv dlouhé tóny, při zachování standartního zvuku houslí při hře smyčcem. Žíně jsou uchyceny po obvodu

kruhu. Kruh může mít různé poloměry. První hlavice bude mít poloměr 5 cm a podle poznatků z jeho používání budou vycházet ostatní hlavice. Poloměr je totiž důležitý pro pohodlné trefování strun.

Dále jsou zde uvedeny návrhy na další hlavice.

Kruh s trsátka po obvodu – jedná se o kruh, po jehož obvodu mají být připevněna trsátka. Aby nedošlo k poškození strun, bude se jednat o tenčí a měkčí trsátka. Zároveň se tyto trsátka hodí na housle víc, protože struna je více napnutá a vytváří tak větší odpor trsátku. Měkčí trsátko se lépe ohne a rozezní strunu. Při tvrdších trsátkách by mohlo dojít k zasekávání a odskakování excitátoru nebo k přetržení struny.

Kartáčová hlavice – nástavec může mít po obvodu připevněná vlákna kartáče. Materiál vláken a jejich parametry nejsou nijak dané. Různá délka spolu s rozdílným průměrem může způsobit jiný zvuk. Stejně tak každý materiál bude mít vliv na zvukovou stránku nástroje.

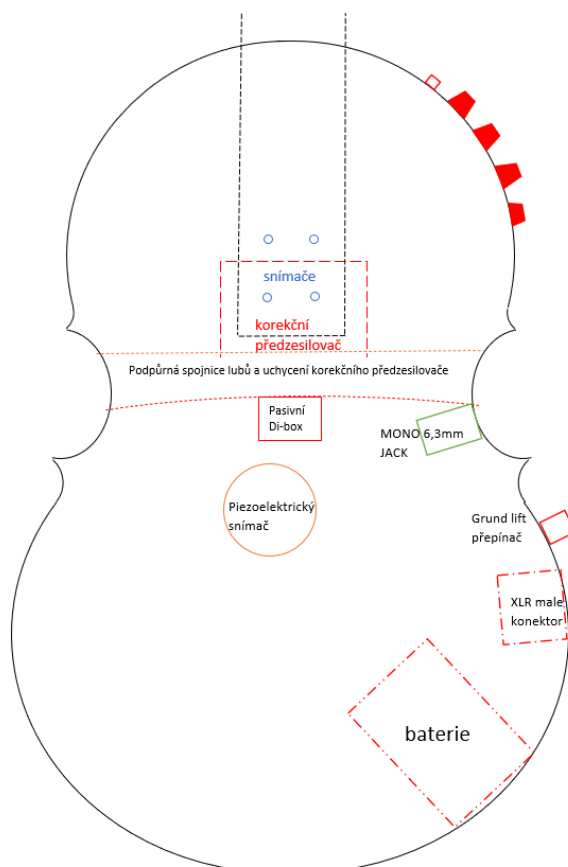
3. REALIZACE

3.1 Úpravy houslí

Z důvodu neuzpůsobení těla klasických houslí pro použití elektroniky a pražců bylo nutné provést úpravy. Pro práci bylo nutné odlepit spodní desku houslí, krk a hmatník. Po kompletaci byl pak ještě odlepen nultý pražec.

3.1.1 Úpravy těla

Na těle houslí bylo nutné provést několik úprav pro možnost ovládání jednotlivých parametrů obvodu elektromagnetického snímače a výstupy pro oba snímače. Rozložení jednotlivých prvků se změnilo oproti původnímu návrhu. Uspořádání je znázorněno na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 Umístění elektrických prvků v houslích

Toto rozložení splňuje podmínku jednoduché manipulace s jednotlivými prvky, ať už se jedná o potenciometry, přepínače či baterii. Zároveň výstupy pro oba snímače jsou umístěny na místech, kde nepřekáží hře a držení houslí. Pro výstup piezoelektrického snímače je ovšem vhodné použít kabel se zalomenou koncovkou. Pohled na ovládací prvky a výstupy nástroje je na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 Ovládací prvky snímačů

Další úprava byla nezbytná, až po připevnění snímačů ke hmatníku. Bylo nutné vytvořit otvor pro elektromagnetické snímače, které se nevešly do původní mezery mezi horní deskou a hmatníkem. Tento otvor se nachází i v místech, kde je k horní desce připevněn basový trámec, a došlo tedy i k jeho mírné úpravě. Tento otvor zároveň slouží i pro propojení snímače s předzesilovačem. Obrázek 3.3.

Poslední úpravou na těle bylo připevnění spojnice mezi luby. Ta zároveň slouží k upevnění korekčního předzesilovače a pasivního Di-boxu.

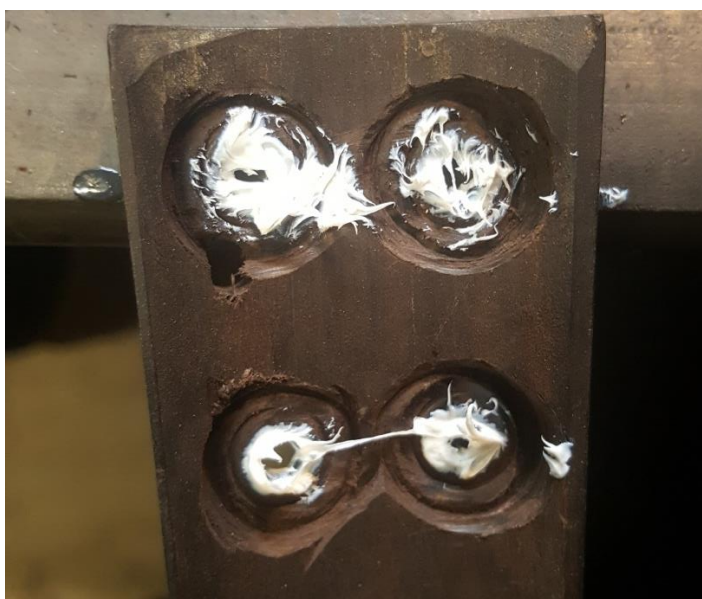


Obrázek 3.3 Otvor v horní desce pro snímače

3.1.2 Úpravy krku a hmatníku

Na krku byla provedena jediná změna. Bylo potřeba zvednout nultý pražec, aby se struny nedotýkaly pražců. Krk byl po přilepení zpět k tělu pro jistotu přišroubován pro zajištění dostatečné pevnosti houslí.

Hmatník byl ponechán houslový oproti navrhované změně v návrhu nástroje. Úpravy pro možné použití violového hmatníku by byly velmi náročné a nemusely by mít pozitivní vliv pro hru. Do hmatníku bylo nutné vyvrtat 4 otvory pro umístění snímačů. Okolo těchto otvorů byl ze spodní strany hmatník zúžen pro dostatečné vsunutí magnetů do hmatníku, jak je vidět na obrázku 3.4.



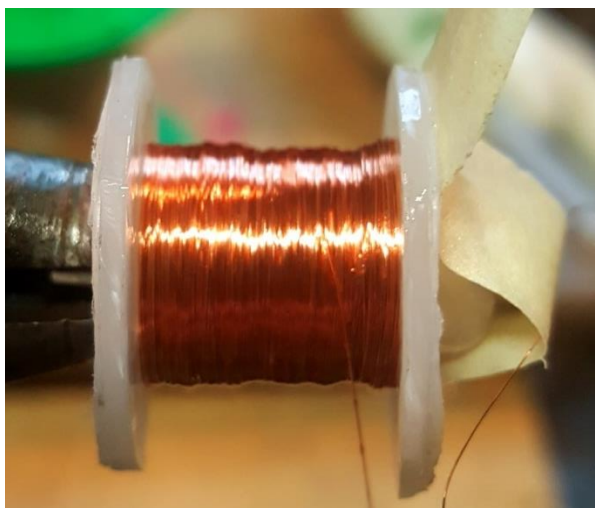
Obrázek 3.4 Úprava hmatníku pro uchycení snímačů

3.2 Postupná konstrukce

3.2.1 Elektromagnetický snímač

Jako jádro byly použity válcovité neodymové magnety NdFeB. Průměr magnetu byl 4 mm a výška 26 mm. Na vinutí byl použit měděný smaltovaný drát o průměru 0,1 mm. Jednalo se o ruční vinutí a náhodným ukládáním závitů. Tento typ navíjení se označuje scattered wound. Počet závitů je v okolí 2500 závitů viz obrázek 3.5. Navíjení probíhalo pomocí elektrické vrtačky. Z uvedených otáček za minutu byl určen potřebný čas navíjení. Počet otáček vrtačky byl ještě před navíjením zkontrolován pomocí kamery

s dostatečnou frekvencí snímání (kamera používá snímání 200 snímků za vteřinu). Na magnet byla umístěna dvě plastová kolečka, která pomáhala při navíjení a zároveň zajišťují izolaci vodičů. Ze čtyř vytvořených snímačů jsou vždy dva s opačným vinutím zapojeny podle návrhu (snímač typu Hambucker).



Obrázek 3.5 Nízkoimpedanční snímač s magnetickým jádrem

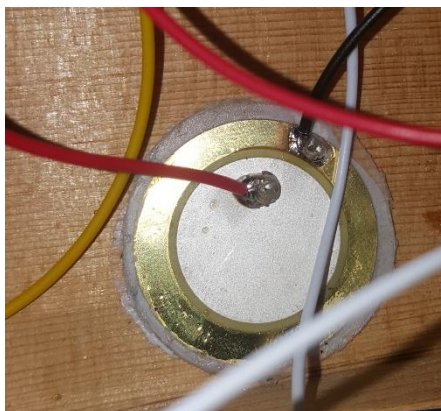
Jednotlivé snímače byly zaizolovány a speciálním lepidlem přilepeny do připraveného hmatníku. Následně byly mezi sebou připájeny, čímž se zajistilo propojení celého obvodu viz obrázek 3.6.



Obrázek 3.6 Vložení odkazu na obrázek. Vyberte *Typ odkazu*, pak *Pouze popisek a číslo*

3.2.2 Piezoelektrický snímač

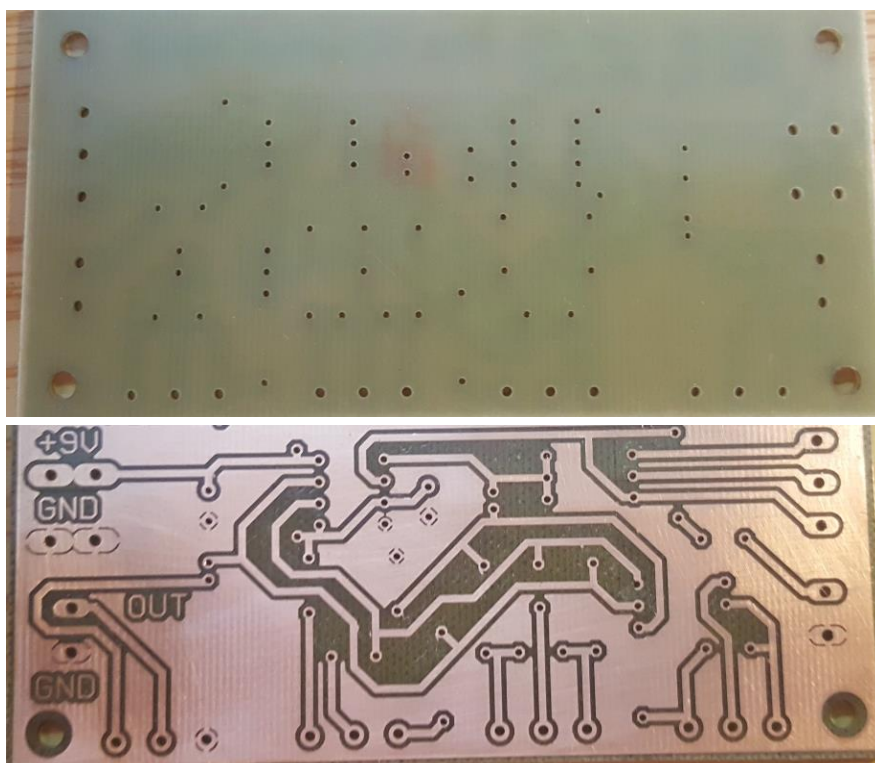
Pro výrobu byl použit základní piezoelektrický měnič 200 ohm 25 nF. Oproti návrhu se tento snímač přesunul do útrobu houslí a připevnil napevno. Samotný piezoelektrický měnič je přilepen na plastovou podložku a s ní přilepen zespodu na horní desku houslí v blízkosti houslové duše, kde by měly housle mít nejlepší zvukové vlastnosti pro umístění kontaktních snímačů. K spodní vrstvě je připájen stínící vodič a na pokovování vrchní strany je připájen živý vodič viz obrázek 3.7. Piezoelektrický snímač je přímo propojen s TS 6,3mm konektorem umístěným na lubu houslí.



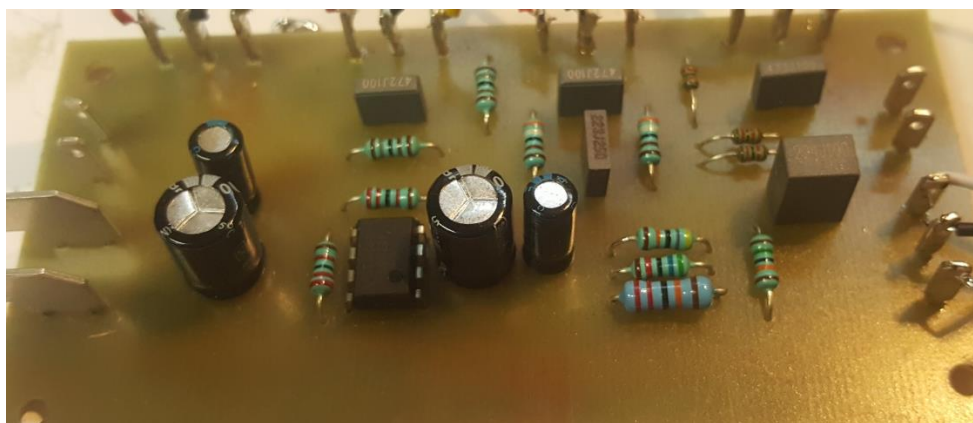
Obrázek 3.7 Piezoelektrický snímač

3.2.3 Korekční předzesilovač

Korekční předzesilovač byl zkonstruován pomocí desky pro plošné spoje vyrobené podle schématu ve formátu EAGLE 6 technikem Lukášem Pazderou z UTKO. Jedná se o drátkové propojení. Prázdná destička je na obrázku 3.8. a osazená na obrázku 3.9.



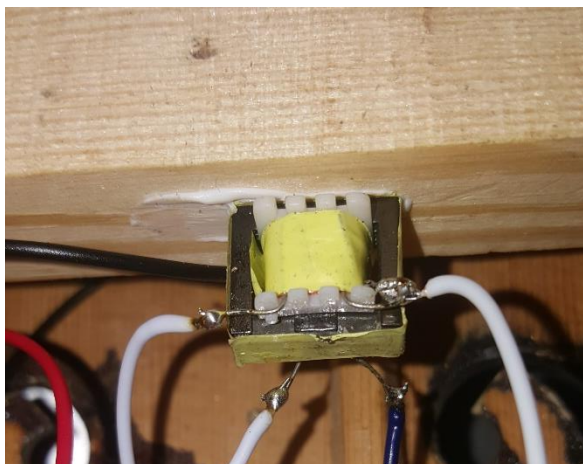
Obrázek 3.8 Horní a spodní pohled na destičku plošného spoje korekčního předzesilovače



Obrázek 3.9 Osazení destičky plošného spoje korekčního předzesilovače

3.2.4 Pasivní Di-box

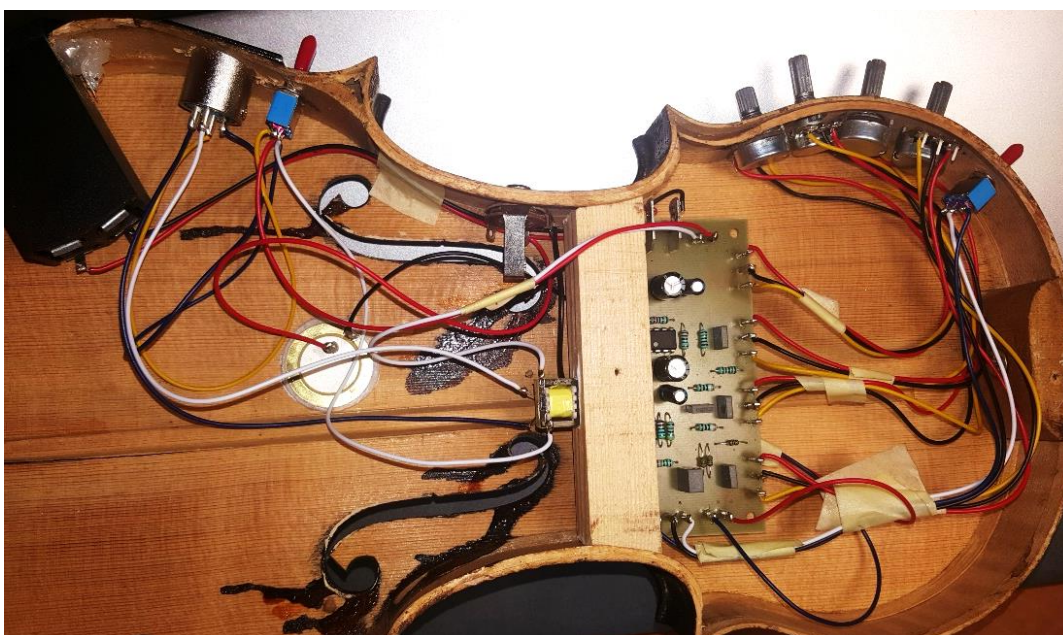
Jedná se o velmi jednoduchý obvod, kdy je za výstup korekčního předzesilovače připojen 600 ohmový oddělovací transformátor s převodem 1:1 a přepínač, který přivede zemní vodič na výstup symetrického konektoru XLR nebo na jeho tělo. Transformátor je přilepen ke spojnici lubů viz obrázek 3.10.



Obrázek 3.10 Oddělovací transformátor Pasivního Di-boxu

3.2.5 Propojení obvodů

Propojení obvodů snímačů viz obrázek 3.11, je provedeno pomocí drátků a vše pečlivě připájeno. Veškerá propojení byla zkontrolována pomocí multimetru.



Obrázek 3.11 Propojení obvodů snímačů

3.2.6 Opražcování hmatníku

Vzdálenosti pražců byla vypočítána ze vzorce

$$L_n = \frac{l - L_{n-1}}{17,817} , \quad (3.1)$$

kdy L_n je vzdálenost od předchozího pražce, l je vzdálenost nultého pražce od kobyly. Toto rozmístění pražců je vhodné pro hru v temperovaném ladění při použití normálních houslových strun. Jednotlivé vzdálenosti jsou v tabulce 3.1.

Pro pražce bylo nutné vytvořit dostatečně veliké drážky na jejich uchycení. Nebylo je možné do hmatníku zatlouct jako u kytary. Zahnutí a tvrdost dřeva znemožnilo jednoduchou práci. Pražce byly po jednom naměřeny a opracovány do výsledných rozměrů a přilepeny na hmatník. Důležité bylo jejich vyrovnaní pod strunu, aby nedocházelo ke kontaktu více pražců se strunou. Na hmatník bylo umístěno pouze 14 pražců. Důvodem byly již malé rozestupy a zároveň se na houslích vyšší polohy až tak často nepoužívají a u houslí s pražci by bylo velmi složité chytat správné tóny. Opražcování nástroje byl zřejmě nejnáročnější úkon z celé konstrukce. Pražce po opracování a zasazení do hmatníku jsou na obrázku 3.12.

Tabulka 3.1 Vzdálenosti pražců

pražec	od 0-tého	od předchozího
1	18.241mm	18.241mm (nut-1)
2	35.458mm	17.217mm (1-2)
3	51.709mm	16.251mm (2-3)
4	67.047mm	15.339mm (3-4)
5	81.525mm	14.478mm (4-5)
6	95.190mm	13.665mm (5-6)
7	108.089mm	12.898mm (6-7)
8	120.263mm	12.174mm (7-8)
9	131.754mm	11.491mm (8-9)
10	142.600mm	10.846mm (9-10)
11	152.837mm	10.237mm (10-11)
12	162.500mm	9.663mm (11-12)
13	171.620mm	9.120mm (12-13)
14	180.229mm	8.609mm (13-14)



Obrázek 3.12 Opražcovaný hmatník po úpravě

3.2.7 Struny

Pražce houslí jsou připraveny na hru v temperovaném ladění při použití normálních strun na housle. Použity jsou struny THOMASTIK Superflexible set 15A. Tyto struny byly doporučeny pro elektromagnetické snímače. Jedná se o kovové struny s chromovým vinutím.

Pro experimentální ladění mělo dojít k návrhu strun. Bohužel by nakonec nebyla možná jejich výroba. Proto bude experimentální ladění provedeno na stejných strunách. Jako zajímavé se jeví rozdělit oktávu na 13 tónů. Využijeme znalosti vzdálenosti 13. pražce. Od něj zjistíme potřebnou délku struny, aby oktáva byla právě ve vzdálenosti 13. pražce. Původní délka struny (délka mezi nultým pražcem a kobylkou) je 325 mm.

Vzdálenost 13. pražce je 171,6 mm. Aby struna měla svou oktávu v této vzdálenosti, musí být její délka 343 mm (přesně se jedná o 343,2 mm). Této vzdálenosti můžeme snadno dosáhnout posunutím kobyly. Při testech šla kobyly posunout až na celkovou vzdálenost 350 mm, aniž by docházelo k nežádoucím jevům, kdy kobyly není k houslím nijak připevněna.

Napětí použité sady strun činí 252,1 N při standartním ladění (výrobce udává hodnotu 25,7 kg). Při měření vlastností houslí po jejich sestavení na ně byla vyvíjena síla až 400 N, aniž by došlo k deformaci jakékoliv části včetně kobyly. Proto je možné nadále s nástrojem experimentovat.

3.2.8 Kompletní nástroj

Nástroj byl slepen lepidlem na dřevo. Nejedná se o speciální lepidlo používané houslaři. Veškerá práce probíhala při možnostech, které byly k dispozici. Nejedná se tedy o profesionální zpracování. I přes to, že celá stavba vycházela z nepříliš kvalitních houslí, nejsou akustické vlastnosti nástroje nejhorší. Primárně jde o všem o elektrický nástroj, u kterého nejsou akustické vlastnosti až tak důležité jako ty elektrické. Obvod elektromagnetického snímače funguje tak, jak by měl. Šum u tohoto nástroje není vysoký.



Obrázek 3.13 Hotový nástroj přední pohled



Obrázek 3.14 Hotový nástroj boční pohled

3.3 Sestrojení excitátoru

3.3.1 Obvod elektromotoru

Propojení elektromotoru s baterií a regulátorem je velmi jednoduché pomocí faston konektoru. Elektromotor byl použit odlišný od zadání. Jeho parametry jsou:

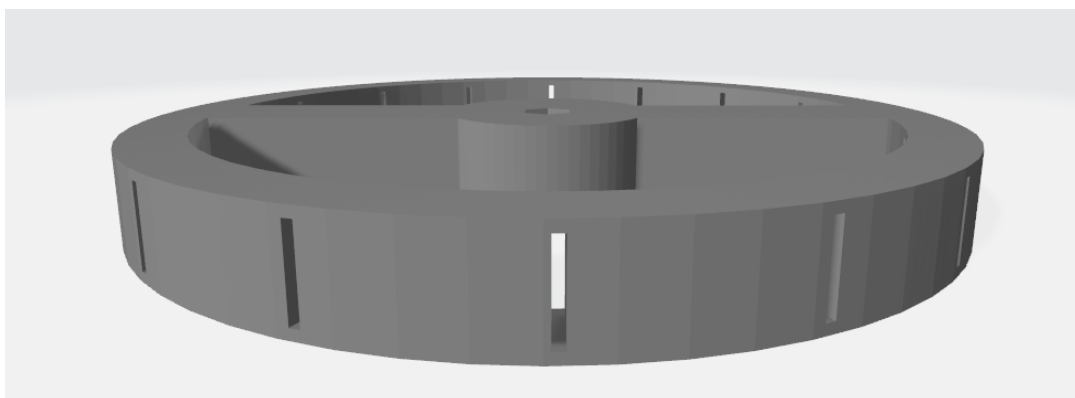
volnoběžné otáčky: 14800 ot/min
odevzdaný výkon: 12,5 W
provozní napětí: 3-9 V/DC
proud naprázdno: 0,5 A
otáčky během zatížení: 12300 ot/min
max. otáčivý moment : 10 Nmm
Ø příkon proudu: 3,2 A
účinnost: 65% .

3.3.2 Hlavice excitátátoru

Hlavice rotujícího smyčce byla vymodelována 3D viz obrázky 3.15 a 3.16 a vytištěna na tiskárně. Doprostřed byl přilepen magnetický bit, který zajistí pevné připojení k rotoru elektromotoru. Mezerami byly k hlavici připevněny žíně.



Obrázek 3.15 3D model hlavice excitátoru pohled A



Obrázek 3.16 3D model hlavice excitátoru pohled B

Jako další hlavice lze využít jakékoliv kruhové nástavce s bitovým uchycením.

4. HODNOCENÍ NÁSTROJE

4.1 Hra na nástroj

Hra na nástroj je mírně odlišná oproti hře na klasické housle. Prstoklad je neobvyklý, neboť se celá ruka musí posunout směrem k hlavě nástroje. Dá se na to ovšem velmi snadno zvyknout. Stisk strun je v momentální úpravě mírně náročnější oproti bezpražcovému nástroji. Struny se nachází ve větší výšce nad pražci. Z tohoto důvodu dojde možná k vybroušení hlubších drážek v nultém pražci, nebude-li si možné zvyknout na tento odpor strun.

Pražce samotné hře nevadí a velice snadno zajišťují správnou intonaci i méně zkušeným hráčům na housle. Jako výukovou pomůcku ve hře na housle se ale tento nástroj nehodí, neboť právě posun ruky může způsobit špatné návyky a houslisté následně nebudou schopni dokonale trefovat místa s čistou intonací.

Výstupy snímačů jsou umístěny na místech, která nepřekázejí při hře. Váha nástroje není o moc větší než u původního nástroje. Nejtěžší části jsou umístěny co nejbližší k tělu hráče, aby vzniklá páka co nejméně ovlivňovala volné držení nástroje pro pohodlnou hru.

Hra rotačním smyčcem není vůbec náročná. Ten je díky tvaru kobylky houslí schopen hrát pouze na dvě struny nástroje současně. Na houslích byla testována i hra pomocí EBow. Tento excitátor fungoval stejně jako u kytary. Zajímavé bylo jeho použití při hře s kombinací obou snímačů.

4.2 Snímání

Piezoelektrický snímač plní svou funkci doplňování barvy nástroje a rozšiřování jeho možností. Postrádání ovládacích prvků může způsobit drobné komplikace. Nemožnost nastavení hlasitosti a případné ztlumení tohoto snímače přímo v houslích je limitující. Snímač je náchylný na zpětnou vazbu více než čistě elektrické housle.

Elektromagnetické snímače fungují obstojně. Přepínač citlivosti na předzesilovači v houslích je ovšem nutné mít přepnut do polohy +10 dB pro dostatečně silný signál. Problém těchto snímačů je jejich velikost. Mají problém vejít se vedle sebe pod malý hmatník houslí. Snímače jsou kvůli náklonu navíjeny zvlášť oproti kytarovým. Zároveň jsou dosti vysoké což zapříčinilo potřebu vytvořit otvor v horní desce nástroje. (obr. 3.3)

4.3 Problémy při konstrukci

Největším problémem u konstrukce bylo opražcování. Dřevo použité na hmatník je velmi tvrdé. Nebylo možné použít stejnou techniku jako u kytary, kdy se vytvoří drážky a pražce se do dřeva přitloukají. Musely být vytvořeny velmi hluboké drážky a pražce uchytit pomocí lepidla. Dalším problémem bylo zahnutí hmatníku. Ohýbání pražců bylo velmi zdoluhavé, neboť každý pražec je zahnut jinak a bylo třeba docílit co nejpřesnějšího kopírování tvaru hmatníku, aby byly všechny struny stejně vzdáleny od pražce. Případné drobné nedostatky šly odstranit obroušením pražců. Při obroušování ovšem několik pražců vypadlo a musely být přilepeny znovu. Výsledek není dokonalý, ale funkčnost hraní není omezena.

Struny musely být přizvednuty na obou stranách dotyku (nultý pražec a kobylka). U houslí jsou struny velice blízko hmatníku. Kmitání struny je totiž udáváno smyčcem ve směru tahu a tím pádem eliminuje kmity, které například u kytary způsobují dotýkání struny jiných pražců, je-li nesprávně seřizena, nebo je úder do strun příliš velký. Kobylka se musela podložit. Nultý pražec se musel podlepit.

Opravy jakékoliv části obvodu vyžaduje kompletní odstavení nástroje. Housle jsou totiž slepeny do jednoho celku bez jakéhokoliv přístupu do jejich útrob.

Vzhledově nejsou housle v dobrém stavu. Při rozlepování celého nástroje došlo k roztavení části laku, který vytvořil drsný povrch. Horní deska byla naprasklá a tato prasklina se rozšířila při odlepování. Musela být slepena, aby nedocházelo k rozšiřování praskliny. Spodní deska se začala rozdělovat na dvě půlky, ze kterých je sestrojena v oblasti dotyku s krkem. I zde byla deska slepena, a navíc se zde nachází dostatečná plocha pro pevné přilepení desky ke krku, čímž se zamezilo dalšímu rozjíždění.

Provedení kontroly elektromagnetického snímače bylo možné až po přilepení spodní desky houslí. Natažením strun na housle bez spodní desky nebylo možné. Housle se velmi při jejich dotahování deformovali tahem a hrozilo prasknutí. Jediná možnost byla pomocí externí kytary. Zde ale bylo složité udržet vzdálenost mezi snímači a kytarou a zároveň struny rozeznít.

Vytvoření nástroje v domácích podmínkách je finančně nevýhodné. Je zde velké riziko poškození nástroje.

Při tisku excitátoru bylo nutné tisk opakovat. Hlavice se po čase rozpadla. Bylo nutné zvolit větší hustotu výplně a tlustší stěny.

4.4 Možnosti hry

Nástroj je díky kombinaci snímačů schopen vydávat různě barevné tóny. Další možnosti rozšiřuje použití různých excitátorů pro experimentální hru. Díky volnému uchycení kobylky a jejímu posunu lze vytvořit třinácti stupňovou oktávu, která je velmi ojedinělá. Toto ladění má možnost více podob. Lze použít buďto standartní naladění strun, což způsobí posunutí jednotlivých tónů na rozdílných strunách. To znamená že struna A bude mít třinácti stupňovou oktávu a struna E, D a G svou. Díky tomu lze vytvořit velké množství mikrotonálních intervalů. Další možnost je ladění uzpůsobit jistému tónu, od kterého se bude vyvíjet ladění i na ostatních strunách. To znamená že bude nutné naladit struny tak, aby byl základní tón vždy čistý na všech strunách. Dále je možné použití různých strun s rozdílnými parametry.

Nástroj lze díky symetrickému výstupu připojit přímo do mikrofonního předzesilovače, mixážního pultu nebo efektu s mikrofonním vstupem. Nástroj byl úspěšně testován na multiektu LINE 6 POD HD500.

4.5 Navrhované úpravy

Opravy obvodů mohou být náročné. Bylo by vhodné zajistit přístup jako je u elektrické kytary. To ovšem u těla akustických houslí není lehké. Vhodné se jeví použití masivu místo dutých houslí. Housle by tak ztratily své akustické vlastnosti. Proto by bylo nutné nahradit Piezoelektrický snímač umístěný na těle houslí snímačem podkobylkovým. Vyřešil by se problém s prostorem pro snímače a veškerá práce by byla jednodušší. Dal by se ale jednoduše zajistit přístup k obvodům houslí a jejich případným opravám.

4.6 Hodnocení zkušeností s nástrojem

Nástroj byl během této práce také testován. Byla vyzkoušena různá nastavení. Jako nejvhodnější se jeví použití kombinace snímačů. Vhodné je použít primárně elektromagnetický snímač a piezoelektrickým doplňovat barvu. Na korekcích předzesilovače je vhodné ubrat mírně středové frekvence. Zvuk z tohoto snímače je nejlepší, pokud se použije v kombinaci s distorzí. Využití nástroje docela široké. Díky pražcům v temperovaném ladění, bylo možné jednoduše dosáhnout úplné souhry s klavírem. Při nastavení kobylky do třináctistupňové oktávy bylo zajímavé zkoušet různé naladění sousedních strun. Excitátor byl testován i na klasických houslích. Zde bylo dosaženo lepších výsledků. Je to ovšem zřejmě dáno většími zkušenostmi s klasickými houslemi než s tímto nástrojem. Po čase nastal problém u přepínače země u Di-boxu. Při zvednutí země je slyšet chrčení a praskání. Při připojení zemi tyto problémy nejsou.

Housle je v plánu nadále testovat a používat i k živému hraní. Zároveň z nich bude vycházet čistě elektrický model s drobnými úpravami, který snad odstraní nedostatky tohoto nástroje a ještě zlepší zvukovou stránku nástroje.

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh a konstrukce experimentálního elektro-mechanického hudebního nástroje, jehož experimentálnost se měla projevit v konstrukci nástroje, ladění, v barvách tónů nástroje, nebo rozeznívání nástroje. Konkrétním návrhem byly housle s pražci v experimentálním ladění. Neobvyklá barevnost nástroje spočívá v kombinaci snímačů. Byla navržena kombinace dvou typů snímačů. Elektromagnetický snímač je zde z důvodu dodržení zadání. Má se totiž jednat o mechanicko-elektrický nástroj. Piezoelektrický snímač dotváří celkovou barvu nástroje. V návrhu nástroje bylo dbáno o zachování klasického vzhledu houslí. Viditelné jsou pouze nezbytně nutné části elektrických obvodů. Nástroj byl v rámci této práce kompletně sestaven.

K experimentálnímu rozeznívání byl navržen a zkonstruován speciální excitátor.

První část semestrální práce se zabývá teoretickými poznatky k danému tématu. Věnuje se teorii nástrojů, ale i konstrukci elektronických součástek následně implementovaných do návrhu. Teoretické poznatky byly potřebné k pochopení problematiky této práce a návrhu nástroje s excitátorem.

Druhá část práce je věnována kompletnímu návrhu nástroje a jeho částí. Podrobně je zde popsán návrh všech komponentů.

Třetí část popisuje postup sestavení jednotlivých prvků nástroje a jeho kompletaci. Jsou zde popsány některé změny provedené oproti návrhu.

Čtvrtá část se věnuje hodnocení nástroje z pohledu funkčnosti a možnostem hry. Jsou zde popsány i problémy, které se objevily během konstrukce nástroje. Dále navrhuje možné úpravy nástroje.

Návrhem a konstrukcí experimentálního mechanicko-elektrického hudebního nástroje byly splněny cíle bakalářské práce.

LITERATURA

- [1] BUCHNER, A.: *Hudební nástroje od pravěku k dnešku*. Praha 1956.
- [2] GUŠTAR, M.: *Elektrofony I*. Uvnitř: Praha, 2006. ISBN 978-80-239-8446-0.
- [3] KUBÁNEK, D.: *Návrh a konstrukce zvukové techniky* - prezentace k přednáškám (cs).
- [4] KUŽEL, Vilém. *Vznik houslí. Housle* [online]. 2011 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <http://www.housle.cz/vznik-housli>.
- [5] MAŘÁK, Jan; NOPP, Viktor.: *Housle: dějiny vývoje houslí, houslařství a hry houslové*. 3. vyd. Praha: Hudební matice Umělecké besedy, 1944. 383 s.
- [6] PÍCHA, F.: *Všeobecná hudební nauka*. Praha, SHV 1961.
- [7] SCHIMMEL, J.: *Studiová a hudební elektronika*. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2012. (158 p.). ISBN 978-80-214-4452-2.
- [8] *Stavba nástroje*. Houslelanc [online]. [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <http://www.houslelanc.cz/stavba-nastroje/>.
- [9] *Guitar control. Redcircuits* [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <http://www.redcircuits.com/Page69.htm>.
- [10] *Elektrické stroje a přístroje* [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: https://projekty.osu.cz/irp2016/Elektricke_stroje_a_pristroje-elearning.pdf.
- [11] *Elektromagnetický snímač pro housle. ELEKTROAKUSTIKA* [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: https://www.elektroakustika.cz/elmag_pickup.html

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
UTKO	Ústav telekomunikací FEKT VUT Brno
KP	Korekční předzesilovač
THD	Total harmonic distortion – celkové harmonické zkreslení
XLR MALE	Mikrofonní konektor symetrického vedení, samec
OZ	Operační zesilovač
dB	Decibel
N	Newton, jednotka síly
V	Volt, jednotka napětí
Hz	Hertz, jednotka frekvence
l	Délka
q	Elektrický náboj částice
B	Magnetická indukce
η	Délková hustota